

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**до виконання лабораторних робіт**  
**з навчальної дисципліни**  
**«ЗВОРОТНІ І БЕЗСТІЧНІ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ**  
**ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ»**

*(для студентів освітнього магістр  
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія,  
спеціалізація (освітня програма) «Раціональне використання і охорона  
водних ресурсів»)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2017**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Зворотні і безстічні системи водопостачання промислових підприємств» (для студентів освітнього рівня магістр, спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, спеціалізація (освітня програма) «Рациональне використання і охорона водних ресурсів») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. Т. С. Айрапетян. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 28 с.

Укладач канд. техн. наук, доцент Т. С. Айрапетян

Рецензент:

канд. техн. наук, доцент Т. О. Шевченко, кандидат технічних наук, доцент Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очистки вод, протокол № 1 від 30.08.2016 р.*

## ЗМІСТ

1. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ТА ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	4
2. ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	7
Лабораторна робота № 1 Порівняння вимог до якості води для виробничих потреб різних галузей промисловості.....	7
Лабораторна робота № 2 Аналіз роботи охолоджувачів систем оборотного водопостачання.....	11
Лабораторна робота № 3 Визначення хрому в стічних водах.....	13
Лабораторна робота № 4 Реагентна очистка стічних вод, вміщуючих шестивалентний хром .....	16
Лабораторна робота № 5 Визначення впливу рециркуляції осаду на залишковий вміст $\text{Cr}^{6+}$ у стічній воді при реагентному очищенні.....	18
Лабораторна робота № 6 Обробка стічних вод від регенерації Na-катіонітових фільтрів з метою повторного використання.....	21
ДОДАТКИ.....	24

# 1. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ТА ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

## Загальні міри безпеки

При роботі в лабораторії студенти особливу увагу повинні звертати на техніку безпеки і дотримуватися правил безпечної роботи – вміти користуватися хімічним посудом, реактивами, розчинами і нагрівальними приладами.

Застосовуваний в лабораторії хімічний посуд у більшості випадків скляний, тонкостінний і тендітний, вимагає дбайливого користування, тому що при недбалому поводженні з ним можливі різні поранення (порізи рук склом). При роботі хімічний посуд слід тримати в руках обережно (не стискати сильно пальцями). При його митті необхідно стежити за тим, щоб не пробити стінки чи дно. У випадку невеликого порізу слід видалити осколки, змити кров навколо рани ватним тампоном, змоченим розчином марганцевокислого калію, змазати йодом і зав'язати бинтом чи заліпити лейкопластиром. При глибоких артеріальних ранах після видалення скла руку слід міцно перев'язати джгутом вище порізу, видалити кров навколо рани, накласти кілька шарів стерильної марлі, потім товстий шар гігроскопічної вати і звернутися до лікаря.

Дуже велике значення має знання студентів про сполуки, з якими їм приходится працювати в лабораторії. Багато з них можуть бути хімічною отрутою, і при необережному поводженні слугувати причиною хімічних опіків і отруєнь. До таких речовин відносяться, насамперед, рідкі кислоти і луги. Усі реактиви і розчини, які використовуються в лабораторії, повинні знаходитися в закритому посуді з чітким написом, який вказує назву і концентрацію реагенту. При влученні сильних кислот на шкіру варто негайно змити облите місце водою, а потім 5 % розчином двовуглекислої соди. При опіку лугами також рекомендується обмити уражене місце водою, а потім 2 % розчином оцтової кислоти. Якщо кислота пролилася на підлогу, її слід засипати піском, потім зібрати його і винести з приміщення, а облите місце промити розчином соди.

При роботі з реактивами слід завжди пам'ятати, що наповнення піпеток для виміру малих обсягів кислот, лугів і інших речовин виконують тільки за допомогою гумової груші. Засмоктування ротом категорично **забороняється!**

Усю роботу зі шкідливими й отруйними речовинами необхідно проводити у витяжних шафах.

Нагрівальні прилади слід встановлювати на теплоізоляційні підставку. При необережній роботі можливі теплові опіки від самого приладу і нагрітого хімічного посуду. Не рекомендується брати гарячий посуд руками. Нагріті предмети беруть щипцями, колботримачами, джгутом з рушника. Необхідно уважно стежити за роботою нагрівальних приладів, не слід залишати їх без догляду. У випадку опіків першого ступеня (червоність) на обпалене місце необхідно накласти вату, змочену розчином марганцевокислого калію, концентрація якого мусить бути тим більше, чим сильніше опік. Можна використовувати і мазі від опіків. При опіках другого ступеня обпалене місце

обробляють розчином марганцевокислого калію. При опіках третього ступеня (руйнування тканин) рану покривають стерильною пов'язкою і викликають лікаря.

У приміщенні лабораторії, де працюють студенти, завжди повинні бути наготові протипожежні засоби: вогнегасники, пісок. Не допускається гасити водою олію, бензин, сірковуглець і ін.

Кожен студент перед початком роботи в лабораторії зобов'язаний ознайомитися з основними положеннями «Інструкції з техніки безпеки для працюючих у хімічних лабораторіях».

Пам'ятайте, що хімічна лабораторія – місце підвищеної небезпеки.

Забороняється приступати до виконання роботи без дозволу викладача або лаборанта.

Під час роботи в хімічній лабораторії дотримуйтеся тиші, порядку, чистоти. Акуратно звертайтеся з хімічним посудом, приладами й реактивами.

Не допускайте влучення в очі будь-якої речовини.

Не нагрівайте, не змішуйте, не лийте й не збовтуйте реактиви поблизу від імені. Завжди направляйте горло посудини від імені й тіла. Не направляйте горло посудини убік працюючих поблизу товаришів.

Ніколи не набирайте рідину в піпетку ротом, завжди користуйтеся грушею або пристосуванням для відбору проб. Пам'ятайте, що пари всіх органічних розчинників токсичні, особливо в більших концентраціях.

Заборонено проводити досліди в брудному посуді, а також користуватися для проведення дослідів речовинами зі склянок без етикеток або з нерозбірливим написом.

Не можна виливати надлишок реактиву із пробірки назад у реактивну склянку. Сухі солі набирають чистим шпателем або ложечкою.

Не слід плутати пробки від різних склянок. Щоб внутрішня сторона пробки залишалася чистою, пробку кладуть на стіл зовнішньою поверхнею.

Уникайте вдихання пар або пилу речовин, з якими ви працюєте. З усіма що порошать або ширяють речовинами роботи проводять тільки у витяжній шафі з опущеними стулками, надягаючи захисні рукавички.

Якщо якісь етапи роботи вам незрозумілі або викликають сумнів, обов'язково проконсультуйтеся з викладачем.

Наприкінці занять всі студенти зобов'язані навести порядок на своєму робочому місці: уважно оглянути й перевірити вимикання електроенергії, води, приладів й апаратів, забрати легко займисте сміття, вимити скляний посуд, здати реактиви інженерові.

### **Організація лабораторних робіт**

Необхідною умовою успішного виконання лабораторних робіт й запобігання аварійних ситуацій або нещасних випадків є уважне вивчення методики проведення досвіду, планування етапів роботи, дотримання правил техніки безпеки.

При виконанні лабораторних робіт необхідно **чітко** дотримувати такі правила:

Перед заняттями студентові необхідно заздалегідь познайомитися з ходом проведення дослідів, чітко усвідомити мету й завдання роботи, обмірковуючи кожну дію.

Приступати до виконання роботи можна тільки після бесіди з викладачем (допуск до лабораторної роботи), у ході якої слід описати основні етапи експерименту із вказівкою мер обережності, вміти намалювати схему установки, мати уяву про фізичні властивості використовуваних реагентів і продуктів реакцій, а також відповісти на ряд теоретичних контрольних питань з теми виконуваної роботи. Допуск до роботи у вигляді розпису провідного викладача відзначається в робочому журналі студента.

Працюючий повинен знати основні властивості використовуваних й одержуваних речовин, їхню дію на організм, правила роботи з ними й на основі цього прийняти всі міри для безпеки проведення робіт.

Виконання лабораторної роботи й кожного окремого дослідів вимагає строгого дотримання всіх вказівок, що втримуються в описі роботи. Дослід повинен виконуватися ретельно, акуратно й без поспіху.

Перед заняттям необхідно оформити лабораторний журнал відповідно до вимог, що наведені нижче.

#### *Послідовність оформлення лабораторного журналу*

Дата

Заголовок: лабораторна робота №, назва лабораторної роботи;

Коротке формулювання мети роботи;

Устаткування, прилади, реактиви

Хід роботи (методика визначення)

Схема лабораторної установки

Таблиця вихідних даних і результатів

Формули та розрахунки

Спостереження

Висновки (вносяться після виконання роботи)

## 2. ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

#### ПОРІВНЯННЯ ВИМОГ ДО ЯКОСТІ ВОДИ ДЛЯ ВИРОБНИЧИХ ПОТРЕБ РІЗНИХ ГАЛУЗЕЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

**Мета роботи** ознайомитися з вимогами до якості води для виробничих потреб різних галузей промисловості, провести аналіз якості води для виробничих потреб на підставі даних лабораторій аналітичного контролю промислових підприємств.

#### Загальні відомості з теорії

Залежно від цільового призначення використовуваної у виробничих процесах води до неї пред'являються різні вимоги, Властивості води визначаються концентрацією окремих домішок, сукупність яких визначає якість води.

Показниками якості води є

1. Фізичні (температура, вміст завислих речовин і розчинених газів, забарвленість, запах й ін.);
2. Хімічні (твердість, лужність, активна реакція, хлориди, сульфати, окисність, сухий залишок й ін.);
3. Біологічні й бактеріологічні (гідробіонти, загальна кількість бактерій, колі-індекс й ін.). Бактеріологічні показники якості виробничої води визначають безпеку її використання й вимагають особливо ретельного контролю при використанні в промисловому водопостачанні біологічно очищених і доочищених побутових стічних вод.

Вода, використовувана на **господарсько-питні потреби** на промислових підприємствах, повинна задовольняти наступним вимогам:

- 1) *каламутність* (вміст завислих речовин) повинна бути  $< 1,5 \text{ мг/дм}^3$ ;
- 2) *забарвленість* повинна бути  $< 20$  град;
- 3) при підігріванні питної води від температури  $20^\circ\text{C}$  до  $60^\circ\text{C}$  вона не повинна мати *запах* більше 2 балів і *присмак* більше 2 балів;
- 4) температура води для питних цілей бажана  $7-12^\circ\text{C}$ ;
- 5) *загальна твердість* господарсько-питної води повинна бути  $< 10 \text{ мг-екв/дм}^3$ ;
- 6) присутність сірководню  $\text{H}_2\text{S}$  у господарсько-питній воді не допускається;
- 7) *вміст сполук заліза* повинний бути  $< 0,3 \text{ мг/дм}^3$ ;
- 8) вміст нітратів повинний бути  $< 10 \text{ мг/дм}^3$ ;
- 9) гранично припустимий вміст у воді *сульфатів* становить  $500 \text{ мг/дм}^3$ , *хлоридів* -  $350 \text{ мг/дм}^3$ ;
- 10) вміст фтору повинний бути  $0,7-1,2 \text{ мг/дм}^3$ ;

- 11) *вміст розчинених речовин* (сухий залишок) повинний бути  $<1000 \text{ мг/дм}^3$ ;
- 12) господарсько-питна вода повинна мати  $\text{pH} = 6,5-8,5$ .
- 13) питна вода не повинна містити більше 100 бактерій в 1 мл (*бактеріальна забрудненість* води).

Придатність води для **виробничих потреб** визначається її технологічними властивостями.

*Температура.* Гранична температура води для охолодження теплообмінних апаратів визначається умовами їхньої роботи й вимогами технології.

*Завислі речовини.* У воді для живлення парових казанів і для деяких видів виробництв допускається до  $2 \text{ мг/дм}^3$  і нижче; в охолоджуючій воді - не більше  $50 \text{ мг/дм}^3$ .

*Забарвленість.* Надає воді колір, указує на присутність у ній органічних речовин, перешкоджає використанню води для багатьох виробництв.

*Присмак і запах.* Наявність у воді небажаних запахів і присмаку робить її непридатною для харчової, хімічної й іншої галузей промисловості.

*Твердість.* Перешкоджає використанню води для парових казанів і деяких видів виробництв. В оборотних системах водопостачання підвищена карбонатна твердість підживлюючої води призводить до відкладення карбонату кальцію в трубопроводах, теплообмінних апаратах й в охолоджуючих пристроях.

*Розчинений (сухий) залишок.* Підвищена мінералізація води перешкоджає її використанню для харчування парових казанів, виробництва кінофотоплівки, штучних волокон, синтетичного каучуку та ін.

*Активна реакція (pH).* При низьких значеннях  $\text{pH}$  вода агресивна, сприяє корозії металу, що призводить до погіршення її смаку. При високих значеннях  $\text{pH}$  вода нестабільна й здатна відкладати на стінках труб і теплообмінних апаратів карбонат кальцію, що викликає їх заростання.

*Залізо й марганець.* Перешкоджають використанню води в текстильній і паперовій промисловості, при виробництві пластмас і кінофотоплівки, у харчовій промисловості й ін.

*Сульфати й хлориди.* Підвищений вміст перешкоджає використанню води для живлення парових казанів і ряду виробництв. Присутність їх у воді свідчить про її агресивність стосовно бетону на силікатному цементі: при вмісті сульфат-іонів більше  $0,25 \text{ г/дм}^3$ , якщо вміст хлоридів менш  $3 \text{ г/дм}^3$ ; при вмісті сульфат-іонів більше  $0,5 \text{ г/дм}^3$ , якщо вміст хлоридів від 3 до  $5 \text{ г/дм}^3$ ; при вмісті сульфат-іонів більше  $1 \text{ г/дм}^3$ , якщо вміст хлоридів більше  $5 \text{ г/дм}^3$ .

При вмісті сульфат-іонів більше  $4 \text{ г/дм}^3$  вода агресивна стосовно до пуцоланового і шлакопуцоланового силікатного цементу, а також до шлакосилікатного цементу.

*Окисність.* Окисність води більше  $8 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$  указує на ймовірність забруднення її стічними водами, на можливість розвитку органічних обростань у теплообмінних апаратах.



Підвищена *окисність* викликає спінювання води в паросилових казанах, перешкоджає її використанню при виробництві синтетичних волокон, а також в електродіалізних та іоннообмінних процесах.

*Кремнекислота*. Перешкоджає використанню води для живлення казанів високого й надвисокого тиску, текстильного й ряду хімічних виробництв, для хіміко-фармацевтичного виробництва.

*Вільна вуглекислота*. Сповільнює процес гідролізу солей металів при коагулюванні, знезалізненні й інших процесах кондиціонування води; викликає корозію металу й бетонних споруд.

*Сірководень*. Надає воді неприємний запах, викликає корозію металів і сприяє заростанню труб і теплообмінних апаратів.

*Розчинений кисень*. Посилює корозію металу, водопровідних труб, тепломереж, теплообмінних апаратів, казанів, бойлерів та ін.

*Азот* (нітратний, нітритний, амонійний). Підвищений зміст у воді свідчить про ймовірне забруднення джерела стічними водами.

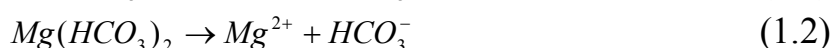
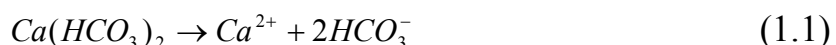
*Загальні вимоги до якості води виробничого призначення:*

1 Вода не повинна призводити до утворення відкладень зависі в трубопроводах і холодильниках.

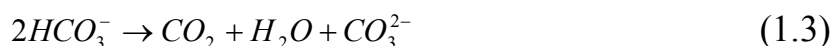
2 Вода не повинна призводити до біологічних обростань у системі, тобто утворення й розвитку в трубопроводах і холодильниках живих мікроорганізмів, водоростей й т.п. В оборотних і прямоточних системах охолодження цьому сприяє сприятлива температура води до 45-50 °С.

3 Вода не повинна викликати відкладень накипу. Накипом називають зв'язані тверді, незмивні водою відкладення, що утворюються на поверхнях нагрівання, охолоджуваних водою, у трубах та ін.

Для оборотних систем охолодження нагрівання води, що містить вуглекислі солі кальцію й магнію в технологічних агрегатах призводить до дисоціації цих солей:



У свою чергу іон  $\text{HCO}_3^-$  дисоціює з утворенням  $\text{CO}_3^{2-}$ :



При нагріванні, а потім охолодженні води у відкритих охолоджувачах вуглекислий газ іде із системи. У результаті вуглекислотна рівновага порушується, виникає надлишок іонів  $\text{CO}_3^{2-}$ . При наявності у воді іонів кальцію  $\text{Ca}^{2+}$  і магнії  $\text{Mg}^{2+}$  утворюються нерозчинні сполуки, що випадають в осад:



Шар накипу в системах охолодження складається на 70-80 % із  $\text{CaCO}_3$  і на 20-30 % з  $\text{MgCO}_3$  і  $\text{SiO}_2$ . За відсутності вільних іонів  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  у воді й наявності вільної вуглекислоти вода стає агресивною стосовно бетону, відбувається його руйнування за рахунок вилуговування іонів кальцію й магнію, що входять до складу бетону.

Наявність зависі й біологічних обростань збільшує інтенсивність накипеутворення. Тому при значному накипеутворенні доцільно спочатку забезпечити максимальне зниження концентрації зависі у воді й усунути причини біологічних обростань, а вже потім розробляти заходи боротьби з утворенням накипу.

4 Вода, що використовується для виробничих потреб, не повинна викликати інтенсивну корозію трубопроводів й устаткування. Швидкість корозії збільшується при низьких рН, підвищеному солевмісті й зменшенні твердості води, збільшенні концентрації хлоридів і сульфатів, кисню, а також інших агресивних газів  $CO_2$ ,  $H_2S$  та з підвищенням температури й тиску води.

5 Вода, використовувана для виробничих потреб, не повинна погіршувати умови виробництва і якість продукції, повинна відповідати технологічним вимогам, а її використання не повинне призводити до несприятливих наслідків, зазначених вище.

Дуже важливою класифікацією оборотної води, використовуваної для цілей охолодження, є класифікація її за здатністю утворювати накип у системах водопостачання при чергуванні циклів «нагрівання–охолодження». Із цього погляду вода для виробничих цілей поділяється:

- на *термостабільну*, що не дає накипу при багаторазовому нагріванні до 40-50 °С. Це вода з карбонатною твердістю < 3,5 мг-екв/дм<sup>3</sup>;
- *умовно термостабільну*, що не утворює накипу при перших циклах «нагрівання–охолодження», а при наступних циклах відрізняється інтенсивним накипеутворенням. Для такої води характерна карбонатна твердість від 3,5 до 5,5 мг-екв/дм<sup>3</sup>;
- *нетермостабільну*, що при перших же циклах «нагрівання-охолодження» інтенсивно утворює накип навіть за наявності у воді вільної вуглекислоти. Для такої води характерна висока карбонатна твердість > 5,5 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

Якщо якість води для виробничих потреб не відповідає пропонованим вимогам, здійснюється відповідне її очищення або водопідготовка різними способами, що забезпечує виконання цих вимог до якості води.

#### *Хід виконання роботи*

1. Одержати вихідні дані у викладача.
2. Вивчити нормативні вимоги до води для галузі промисловості відповідно до виданого завдання.
3. Зробити порівняльний аналіз показників якості води лабораторій аналітичного контролю промислових підприємств із нормативними вимогами.
4. Результати аналізу звести у таблицю 1.1 і зробити висновки.

Таблиця 1.1 – Аналіз показників якості води

Показ- ники	Значення показників якості води						Висновок
	Для гоп.-питних потреб		для виробничих потреб		для оборотного водопостачання		
	норматив	факт	норматив	факт.	норматив	факт.	

### Контрольні питання

1 Перелічите основні показники якості води, які необхідно контролювати при подачі води для виробничих потреб.

2 Яка вода вважається термостабільною?

3 Чим обумовлена твердість води?

4 Яка вода вважається нетермостабільною?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

### АНАЛІЗ РОБОТИ ОХОЛОДЖУВАЧІВ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

**Мета роботи:** вивчити типи охолоджувачів систем оборотного водопостачання; навчитися визначати втрати води в охолоджувачах.

#### Прилади й матеріали:

1 Калькулятор.

3 Роздавальний матеріал.

#### Короткі відомості з теорії

Для систем оборотного водопостачання повинен складатися баланс води, що враховує втрати, необхідні скидання й додавання води в систему, для компенсації втрати з неї.

Втрати води на промисловому підприємстві складаються з втрат:

- на технологічні потреби (безповоротне водоспоживання);
- в охолоджувачах оборотної води;
- на очисних спорудах;
- на скид води з системи (продувку системи), величина якого визначається

залежно від якості оборотної й води й підживлюючої води, що додається в систему, а також способу її обробки.

Втрати води на технологічні потреби (насамперед, винесення її із продуктами й відходами) визначаються технологічними розрахунками і є безповоротними.

В охолоджувачах втрати води складаються із втрат на фільтрацію, випаровування, віднесення води вітром.

Втрати води на фільтрацію враховуються тільки в ставках-охолоджувачах і накопичувачах при водопроникних ґрунтах підстави і огорожуючих дамб. Розрахунок здійснюють за даними гідрологічних вишукувань. Втрати води на фільтрацію з бризкальних басейнів і водозбірних резервуарів градирень допускається не враховувати.

Втрати води на випаровування ураховуються у випарних охолоджувачах: бризкальних басейнах, відкритих градирнях, ставках-охолоджувачах. У радіаторних охолоджувачах ці втрати відсутні.

Втрати води па випаровування, м<sup>3</sup>/год,

$$Q_1 = K_{\text{вип}} \cdot Q \cdot \Delta t, \quad (2.1)$$

де  $K_{\text{вип}}$  – коефіцієнт, який враховує долю тепловіддачі випаровуванням в загальній тепловіддачі;

$\Delta t$  – перепад температур води, який визначається як різниця температур води, що надходить до охолоджувача і температури охолодженої води, °C .

$Q$  – витрата охолоджуваної оборотної води, м<sup>3</sup>/год.

Для бризкальних басейнів і градирень залежно від температури повітря за сухим термометром  $T$  значення коефіцієнта  $K_{\text{вип}}$  визначають за таблицею А.1 (див. додаток А). Для ставків-охолоджувачів значення коефіцієнта  $K_{\text{вип}}$  приймається залежно від природної температури води водойми за таблицею А.2 (додаток А).

Втрати води на випаровування виражаються у відсотках і визначаються за формулою

$$P_1 = \frac{Q_1}{Q} \cdot 100. \quad (2.2)$$

Втрати води на віднесення вітром ураховуються у випарних охолоджувачах, бризкальних басейнах, відкритих градирнях і зрошувальних теплообмінних апаратах. У радіаторних охолоджувачах ці втрати відсутні.

Втрати води на віднесення вітром, м<sup>3</sup>/год.

$$Q_2 = \frac{P_2 \cdot Q}{100}. \quad (2.3)$$

де  $P_2$  – втрати води на віднесення вітром, %.

Втрати води внаслідок віднесення вітром залежать від типу охолоджувача, витрати оборотної води, наявності спеціальних водоуловлювачів для зниження виносу краплинної вологи й приймаються за таблицею А.3.

Втрати води на продувку системи пов'язані з необхідністю скидання частини відпрацьованої води й заміни її свіжою водою для підтримки необхідної якості води (в основному карбонатній твердості) в оборотному циклі.

Витрата води на продувку системи з метою підтримки необхідної концентрації солей твердості в оборотній воді, м<sup>3</sup>/год,

$$P_3 = \frac{P_1 \cdot \mathcal{K}_d^K}{\mathcal{K}_{об}^K - \mathcal{K}_d^K} - P_2 \quad (2.4)$$

де  $J_{\text{д}}^{\text{к}}$ ,  $J_{\text{об}}^{\text{к}}$  – відповідно твердість карбонатна підживлюючої (свіжої) води, г-екв/м<sup>3</sup>;

Орієнтовно можна вважати припустимою карбонатну твердість оборотної води у 1,5-2 рази більше карбонатної твердості підживлюючої води (свіжої води, що додається), при величині останньої до 2,5 г-екв/м<sup>3</sup> при використанні води з поверхневих джерел і до 1,5 г-екв/м<sup>3</sup> – для води з підземних джерел.

*Втрати води на скидання з системи (продувку)  $P_3$ , %*, передбачаються для підтримки розрахункової концентрації розчинних в оборотній воді солей, що не випадають в осад, і розраховуються за формулою

$$P_3 = \frac{P_1}{K_{\text{вип}} - 1} - P_2. \quad (2.5)$$

Значення величини продувки відкритих оборотних систем з градирнями не перевищує 3 % витрати оборотної води й встановлюється в кожному конкретному випадку з умов підтримки раціонального значення коефіцієнта концентрування солей добре розчинних солей  $K_{\text{к.с}}$

$$K_{\text{к}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3}. \quad (2.6)$$

Раціональне значення коефіцієнта  $K_{\text{к.с}}$  для кожної системи оборотного водопостачання встановлюється індивідуально технологічними й техніко-економічними розрахунками з урахуванням температурних параметрів роботи системи і якості підживлюючої води. Значення  $K_{\text{к.с}}$  зазвичай підтримується близько 3-5; за певних умов  $K_{\text{к.с}}$  може становити 6-8.

### Контрольні питання

- 1 Перелічіте втрати води в охолоджувачах.
- 2 Як визначаються втрати води на випаровування?
- 3 Від чого залежать втрати води на віднесення вітром?
- 4 Як визначається витрата води на продувку системи?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

### ВИЗНАЧЕННЯ ХРОМУ В СТИЧНИХ ВОДАХ

**Мета роботи** - оволодіння методикою кількісного колориметричного визначення хрому в аналізованій воді.

Хром попадає в природні води зі стічними водами деяких машинобудівних, хімічних виробництв і шкіряних заводів. У них хром може зустрічатися у вигляді тривалентного катіона ( $\text{Cr}^{3+}$  або у вигляді аніонів: хроматів-іонів ( $\text{Cr}_4^{2-}$ ) або біхроматів-іонів ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ). Тривалентна форма хрому стійка, і у звичайних умовах не можна припускати окислювання тривалентного хрому в шестивалентний. У розчиненому виді  $\text{Cr}^{3+}$  присутній тільки в кислому середовищі. У нейтральному й лужному середовищах він гідролізується з виділенням  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ . Комплексоутворюючі речовини перешкоджають гідролізу.

Шестивалентний хром може зустрічатися в лужних розчинах у вигляді  $\text{Cr}_4^{2-}$ , а в кислих розчинах - у вигляді  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ . У цій формі хром стійкий у водах, що не містять відновників, якщо ж відновники присутні, то відбувається відновлення його до  $\text{Cr}^{3+}$ . У твердій фазі присутній переважно  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ .

Для визначення хрому застосовується колориметричний метод з дифенілкарбазидом, застосовний при вмісті хрому від 0,05 до 1,0 мг/л. При аналізі проб, що містять хром у більших концентраціях, пробу треба попередньо розбавити.

Нижче описана методика визначення шестивалентного хрому й загального вмісту хрому; вміст  $\text{Cr}^{3+}$  знаходять по різниці.

Результати визначення всіх форм виражаються в міліграмах хрому на 1 л води.

#### *Колориметричне визначення з дифенілкарбазидом*

Хромати й біхромати реагують у кислому середовищі з дифенілкарбазидом з утворенням розчинної сполуки червоно-фіолетового кольору, придатного для колориметрування. Шестивалентний хром визначають безпосередньо (*варіант А*). Загальний вміст хрому визначають після окислювання персульфатом у кислому середовищі (*варіант Б*). Вміст  $\text{Cr}^{3+}$  знаходять по різниці результатів обох визначень. За описаною методикою можна визначити хром у нерозбавленій пробі при вмісті його від 0,05 до 1,00 мг в 1 л води.

У випадку, коли води мають кислу реакцію колориметрично визначити хром важко і тоді визначають тільки загальний вміст хрому ("загальний хром").

#### *Апаратура*

- Спектрофотометр LEKI, ( $\lambda = 536 \div 540$  нм);
- Скляні кювети, 10 мм;
- Колби мірні на 100 мл, 14 шт.

#### *Реактиви*

- Їдкий натр ч.д.а., 1Н;
- Сірчана кислота ч.д.а., 1Н;
- Фосфорна кислота ч.д.а., концентрована, 85 %;
- Дифенілкарбазид, 0,5 %-й розчин в ацетоні;
- Персульфат амонію ч.д.а., 0,1 %-вий розчин;
- Аналізована вода;
- Біхромат калію, стандартний розчин:

а) запасний: 1 мл розчину містить 1,0 мг  $\text{Cr}$ ;

б) робочий № 1: 25,0 мл запасного стандартного розчину розбавляють дистильованою водою до 500 мл; 1 мл розчину містить 0,050 мг  $\text{Cr}$ ;

в) робочий № 2: 20,0 мл робочого розчину № 1 розбавляють дистильованою водою до 500 мл. Застосовують кожного разу свіжоприготовлений розчин; 1 мл розчину містить 0,002 мг  $\text{Cr}$ .

#### *Калібрована крива*

У ряд мірних колб ємністю 100 мл відмірюють 0; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0; 30,0; 40,0; 50,0 мл стандартного робочого розчину № 2, що після доведення

обсягів до 100 мл дає серію стандартних розчинів з концентраціями хрому 0; 0,02; 0,04; ...; 1,0 мг/л. Потім проводять визначення за варіантом А. З отриманих значень оптичної щільності віднімають величину оптичної щільності холостого визначення й отримані величини наносять на графік у вигляді залежності оптичної щільності від концентрації хрому.

#### *Хід визначення*

##### *Варіант А (визначення шестивалентного хрому)*

У мірну колбу ємністю 100 мл відмірюють такий обсяг прозорої проби, щоб у ньому втримувалося від 0,005 до 0,1 мг хрому (при аналізі води необхідно зробити мінімум 4 різних ступенів розведення). Пробу нейтралізують, якщо це необхідно, певною кількістю 1 Н розчину NaOH або 1 Н розчину H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, що встановлюють титруванням окремої порції проби. Потім доливають 1 мл H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1:1), 0,3 мл фосфорної кислоти, доводять обсяг дистильованою водою до 100 мл і перемішують. Додають 2 мл розчину дифенілкарбазиду й знову перемішують. Через 5–10 хв після додавання дифенілкарбазиду вимірюють оптичну щільність розчину ( $\lambda=536-540$  нм). З отриманого значення оптичної щільності проби віднімають значення її для холостого визначення з дистильованою водою й по каліброваній кривій знаходять вміст хрому.

##### *Варіант Б (визначення загального змісту хрому)*

У колбу ємністю 100 мл відмірюють такий обсяг прозорої проби, щоб у ньому втримувалося від 0,005 до 0,1 мг хрому. Пробу нейтралізують, якщо необхідно, певною кількістю 1 Н розчину NaOH або 1 Н розчину H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, що встановлюють титруванням окремої порції проби. Потім додають 0,3 мл 1 Н H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> й 5-10 мл розчину персульфату амонію, після чого кип'ятять розчин 20-25 хв (при цьому весь персульфат повинен розкластися, тому що його сліди заважають наступному визначенню). Розчин випарюють приблизно до 50 мл, переносять у мірну колбу ємністю 100 мл, після чого продовжують аналіз за варіантом А.

#### *Розрахунок*

Вміст хрому визначають за формулою:

$$X = C \cdot 1000 / V, \text{ мг/л}, \quad (3.1)$$

де С – вміст хрому, знайдений за калібровочною кривою, мг/л;

V – обсяг хрому, взятий для аналізу, мл.

#### **Контрольні питання**

1. Основні джерела і промислові процеси, що спричиняють потрапляння сполук хрому в довкілля, та наслідки такого типу забруднення.
2. Токсична дія сполук три- і шестивалентного хрому.
3. Які методи застосовують очистки від іонів важких металів, зокрема хрому, їх переваги і недоліки, складність вилучення сполук шестивалентного хрому порівняно з іншими важкими металами.
4. Мінімальні значення ГДК для іонів хрому Cr<sup>3+</sup>?
5. Який метод застосовується для визначення хрому?

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4**

### **РЕАГЕНТНА ОЧИСТКА СТИЧНИХ ВОД, ВМІЩУЮЧИХ ШЕСТИВАЛЕНТНИЙ ХРОМ**

**Мета роботи** – вивчення процесу відновлювального вилучення хрому (VI), виявлення умов, що забезпечують ефективне очищення стічних вод від сполук шестивалентного хрому.

Хром (VI) утримується в стічних водах хімічних, металургійних, машинобудівних підприємств й інших виробництв, зазвичай у кількостях від 10 до 500 мг/л. Під час руху такої води по трубопроводах на їхніх стінках відкладаються сполуки хрому, зменшуючи перетин трубопроводу. Гранично припустима концентрація сполук хрому у водоймах становить 0,1 мг/л у перерахунку на Cr (VI). Стічні води, що надходять на біологічні очисні споруди, так само повинні мати концентрацію Cr (VI) не вище 0,1 мг/л, оскільки до нього досить чутливі мікроорганізми активного мулу.

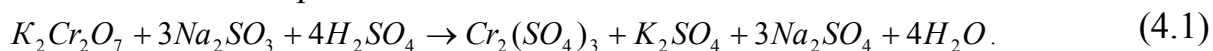
Найбільшого поширення в практиці очищення промислових стічних вод від сполук шестивалентного хрому одержав реагентний метод.

Реагентне хімічне очищення засноване на відновленні Cr (VI) до Cr (III), що потім осаджують у вигляді Cr(OH)<sub>3</sub>.

Як відновлювачі використовують диоксид сірки, бісульфіт натрію, сульфід натрію, залізний купорос. Реакції відновлення Cr (VI) до Cr (III) зазвичай проводять у кислому середовищі, тому що в цьому випадку проявляється найбільша окисна активність хроматів ( $E = 1,33V$ ).

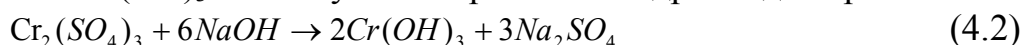
Однак при виборі оптимальних значень рН для проведення окислювально-відновного процесу необхідно враховувати, що відновлювальна активність деяких реагентів (наприклад, залізного купоросу) сильніше виражена в лужному середовищі. Тому оптимальні для даної реакції значення рН доцільно встановити досвідченим шляхом. Для осадження хрому (III) у вигляді Cr(OH)<sub>3</sub> використовують вапняне молоко, їдкий натр, вуглекислий натрій й ін. Найбільш повне осадження досягається при рН 8-9.

При використанні для відновлення хроматів сульфиту натрію реакція протікає відповідно до рівняння:



Повнота процесу відновлення визначається концентраціями Cr (VI) і Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, їхнім співвідношенням і рН реакційного середовища.

Для осадження Cr(OH)<sub>3</sub> може бути використаний гідроксид натрію:



#### *Апаратура*

- рН-метр;
- Спектрофотометр LEKI, ( $\lambda = 430$  нм);
- Скляні кювети, 10 мм;
- Циліндри мірні на 250 мл – 9 шт.;
- Скляні палички з гумовими наконечниками – 9 шт.;
- Набір скляних мірних піпеток;



### *Реактиви*

- Розчин  $K_2Cr_2O_7$ , 1 Н, 47,3 г/л, вміст хрому 17,3 г/л – 0,5 л;
- Розчин  $Na_2SO_3$ , 1 Н, 63,0 г/л;
- Розчин  $H_2SO_4$ , 1 Н;
- Розчин  $NaOH$ , 1 Н.

### *Хід визначення*

Експериментальне визначення оптимальних умов відновлення хромату і його наступного осадження зводиться до послідовного виявлення впливу на процес кислотності й рН реакційної суміші, концентрації розчинів біхромату калію, надлишку **відновника** проти його стехіометричної витрати, величини рН при осадженні  $Cr(OH)_3$  розчином луги.

При необхідності можуть бути експериментально визначені також дози коагулянтів або флокулянтів, що використовуються для інтенсифікації процесу осадження  $Cr(OH)_3$ , що утворюється.

#### *1. Виявлення впливу рН реакційного середовища*

У серію з 9 циліндрів на 250 мл послідовно вводяться **відміряні** обсяги води, біхромату калію, сірчаної кислоти й сульфіту натрію (табл. 4.1). Після введення кожного реагенту здійснюється короткочасне перемішування вмісту циліндрів, а після введення розчину сульфіту натрію - перемішування протягом 5 хв. зі спостереженням за зміною кольору розчинів.

Після цього із циліндрів, у які був уведений сульфід натрію, відбираються проби розчину для визначення рН й оптичної щільності розчинів при  $\lambda=430$  нм. Проби після визначення рН й оптичної щільності повертаються у відповідні циліндри. Отримані дані вносять у табл. 4.1. За отриманими результатами будують графік  $D^{(430)} = f(pH)$ , по якому судять про вплив рН на ступінь відновлення хрому. Слід зазначити, що аніон  $Cr_2O_7^{2-}$  має жовте фарбування, а катіон  $Cr^{3+}$  – зелену. Тому оптична щільність розчину, що містить більш високу концентрацію шестивалентного хрому, при  $\lambda=430$  нм, буде вище. За отриманою залежністю роблять висновок про оптимальний діапазон рН відновлення хрому.

#### *2. Визначення рН найкращого осадження $Cr^{3+}$*

Після того, як був визначений ступінь відновлення хрому, у циліндри з досліджуваною водою вводять  $H_2SO_4$  згідно табл. 4.1 При цьому відбувається повне відновлення хрому у всіх циліндрах. Потім у кожному циліндрі створюють різні значення рН шляхом додавання розчину  $NaOH$ . Вміст циліндрів ретельно перемішують і після 30 хв відстоювання визначають рН і обсяг осаду ( $a_0$ ). Також візуально судять про ефективність осадження гідроксиду хрому. Отримані результати заносять у табл. 4.1 і роблять висновок про оптимальний діапазон рН виділення  $Cr(OH)_3$ .

Таблиця 4.1 – Форма запису результатів

№	Склад реакційної суміші, мл				Показники після перемішування		Добавлено реагентів, мл		Показники після осадження		
циліндр	$H_2O$	$K_2Cr_2O_7$ , 1 л	$H_2SO_4$ , 1 л	$Na_2SO_3$ , 1 л	pH	$D^{(430)}$	$H_2SO_4$ , 1 л	$Na_2SO_3$ , 1 л	pH	$a_0$	осадження
1	200	2,5	–	–							
2	193	2,5	–	5			10	5			
3	190	2,5	2	5			7	6			
4	187	2,5	5	5			5	7			
5	185	2,5	7	5			2	8			
6	180	2,5	10	5			1	9			
7	180	2,5	7	5			4	5			
8	180	2,5	7	5			4	6			
9	180	2,5	7	5			7	9			

### Контрольні питання

1. Який вплив оказують на живі організми іони важких металів?
2. У яких концентраціях хром (VI) втримується у стічних водах?
3. У якому виді хром може зустрічатися у стічних водах? Яка форма більш стійка?
4. У чому полягає сутність реагентного методу очистки гальванічних стічних вод?
5. Які реагенти використовують як відновлювані Cr (VI) до Cr (III)
6. Наведіть реакції відновлення Cr (VI) до Cr (III)
7. У якому середовищі проявляється найбільша окисна активність хроматів?

На питання 1, 4, 6, 7 необхідно відповісти письмово перед виконанням роботи.

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

#### ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ РЕЦИРКУЛЯЦІЇ ОСАДУ НА ЗАЛИШКОВИЙ ВМІСТ $Cr^{6+}$ У СТІЧНІЙ ВОДІ ПРИ РЕАГЕНТНОМУ ОЧИЩЕННІ

**Мета роботи** – визначення впливу рециркуляції осаду на якість очищення гальванічних стічних вод від іонів  $Cr^{6+}$ , а також визначення ефективної дози реагентів, що додаються.

Показники, що визначаються в серіях досвідів – залишковий вміст  $Cr^{6+}$  і pH середовища стічної води після очищення.

Для простоти проведення лабораторних експериментів, пов'язаних зі складністю дозування розчинів реагентів, слід використовувати 2 % розчин вапна –  $(\text{Ca}(\text{OH})_2)$  і 2 % розчин сірчанокислового заліза (II) –  $(\text{FeSO}_4)$ . Під час такої обробки стічних вод утвориться осад, що потім змішується з новою порцією стічної води в наступних циклах рециркуляції осаду.

На першому етапі визначається необхідна кількість 2 % розчину вапна для доведення вихідного рН розчину стічних вод до рН = 10,0. При цьому використовуються 10 стандартних літрових циліндрів, у які необхідно налити по 1000 мл досліджуваної стічної води з вихідною рН = 8,6. У кожний із циліндрів слід налити 2 % розчин вапна. У перший циліндр 5 мл  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , а в усі наступні на 1 мл  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  більше. В останній, десятій циліндр, налити 14 мл 2 % розчину  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  відповідно. Після кожного додавання вапна стічну воду в циліндрі слід перемішати й через 5 хв. після перемішування визначити рН середовища.

На другому етапі лабораторних досліджень визначається ефективна доза 2 % розчину сірчанокислового заліза (II), що вводиться при рециркуляції осаду згідно спеціально розробленої методики.

У шість стандартних літрових циліндрів потрібно налити по 1000 мл досліджуваної стічної води, що містить іони  $\text{Cr}^{6+}$ , при цьому визначити рН середовища. Потім туди ж, для коректування рН, додати 2 % розчин вапна  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (вапняне молоко) у кількості 5–13 мл, залежно від рН вихідної води, і при постійному перемішуванні вертикальною мішалкою довести до рН=10. (при різному дозуванні 2 % розчину вапна у мл на 1000 мл досліджуваної стічної води рН перебуває у межах 8,3–8,7, ефективне значення рН=9,0-10,0 досягається при витраті вапна 11-13 мл).

Після двохвилинного перемішування до проб додати 2 % розчин сірчанокислового заліза (II) (залізний купорос) у різних часткових співвідношеннях: 0,33; 0,67; 1,0; 1,33; 1,67; 2,0 стосовно вихідного вмісту  $\text{Cr}^{6+}$  у стічній воді, для визначення ефективної дози  $\text{FeSO}_4$ , що буде потрібно для відновлення  $\text{Cr}^{6+}$  до  $\text{Cr}^{3+}$ . При цьому проби слід знову перемішати вертикальною мішалкою протягом 5 хв. Потім проби відстоювати протягом 1 год. Далі з кожного циліндра слід відібрати оброблену відстоюну стічну воду й визначити рН середовища й залишковий вміст  $\text{Cr}^{6+}$ . Наприкінці циклу з кожного циліндра осад, що випав, відокремити від води, а до осаду, що залишився, додати нову порцію досліджуваної води в кількості 1000 мл, і потім весь процес повторювали знову за тією ж схемою. Також після кожного циклу необхідно фіксувати зміну обсягу осаду, що утворився, у кожному із циліндрів. Після таких операцій витрата 2 % розчину вапна зменшується й перебуває в межах 5-7 мл, що свідчить про зменшення витрати  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  приблизно в 2 рази.

Результати лабораторних досліджень заносяться у таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – Визначення впливу рециркуляції осаду на залишковий вміст  $\text{Cr}^{6+}$  у стічній воді при реагентному очищенні

Номери циліндрів	Об'єм стічної води, що оброблюється, мл	Об'єм рециркулюючого осаду, мл	Концентрація $\text{Cr}^{6+}$ у вихідній стічній воді, мг/л	pH вихідної стічної води у суміші з рециркулюючим осадом, од. pH	Доза $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , мг/дм <sup>3</sup> 2% розчин $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , мл	pH стічної води після обробки $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , од. pH	Доза $\text{FeSO}_4$ в долях від концен-трації $\text{Cr}^{6+}$	Доза $\text{FeSO}_4$ , мг/дм <sup>3</sup> 2% розчин $\text{FeSO}_4$ , мл	pH розчину після обробки ванном та сірчаноокислим залізом (II), од. pH	Вміст $\text{Cr}^{6+}$ після очистки, мг/л	Об'єм осаду, що утворився після відстоювання протягом години, мл
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Без рециркуляції осаду											
1	1000	-			260/13		0,33	22/1,10			
2	1000	-			260/13		0,67	45/2,24			
3	1000	-			260/13		1,0	67/3,35			
4	1000	-			260/13		1,33	89/4,45			
5	1000	-			260/13		1,67	112/5,59			
6	1000	-			260/13		2,0	134/6,70			
1 цикл рециркуляції осаду											
	1000				240/12		0,33	22/1,10			
	1000				240/12		0,67	45/2,24			
3	1000				240/12		1,0	67/3,35			
4	1000				240/12		1,33	89/4,45			
1	1000				240/12		1,67	112/5,59			
2	1000				240/12		2,0	134/6,70			

За результатами лабораторних досліджень побудувати залежність, що відображає вплив співвідношення дози сірчаноокислого заліза, що додається і концентрації  $\text{Cr}^{6+}$  у вихідній воді на залишкову концентрацію  $\text{Cr}^{6+}$  з рециркуляцією та без рециркуляції осаду.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

### ОБРОБКА СТИЧНИХ ВОД ВІД РЕГЕНЕРАЦІЇ НА-КАТІОНІТОВИХ ФІЛЬТРІВ З МЕТОЮ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ

**Мета роботи** – вивчення параметрів зм'якшення стічних вод від регенерації Na-катіонітових фільтрів і виявлення можливості повторного (багаторазового) використання обробленої (зм'якшеної) води у циклі регенерації.

#### **Загальні положення**

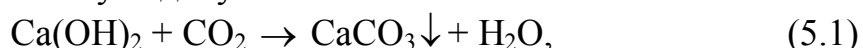
Відповідно до динаміки зміни хімічного складу стічних вод від регенерації Na-катіонітових фільтрів максимальна кількість NaCl виводиться з фільтра за перші 20 хвилин (95–97 %), за наступні 10–20 хвилин до завершення відмивання з фільтра виводяться лише 5-3 % NaCl.

Оскільки найбільш концентрована частина солей вимивається за перші 20 хв (загальна тривалість промивання Na-катіонітових фільтрів становить, як правило, 40-50 хвилин), зм'якшення стічних вод у цьому випадку здійснюється на усереднених пробах, відібраних за перші 20 хвилин відмивання (регенерації) фільтрів.

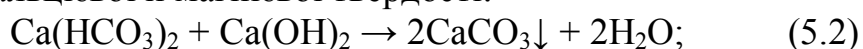
Технологія обробки (зм'якшення) найбільш концентрованої частини стічних вод від промивки Na-катіонітових фільтрів полягає в застосуванні содово-вапняного методу видалення солей постійної твердості й збереженні незмінної концентрації хлориду натрію. Сутність технології полягає в перекладі розчинених у воді солей кальцію й магнію в малорозчинні сполуки  $\text{CaCO}_3$  і  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , що випадають в осад.

При додаванні вапна відбуваються наступні процеси:

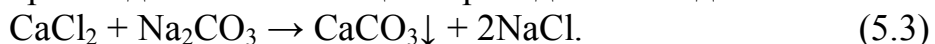
а) зв'язування розчиненої у воді вуглекислоти



б) усунення карбонатної кальцієвої й магнієвої твердості:



Для усунення некарбонатної кальцієвої твердості зазвичай використовують соду, при введенні якої кальцій переходить в осад



Специфічною особливістю такої обробки є надзвичайно високі концентрації солей твердості (від 40,0 до 950 мг-екв/л), концентрація хлоридів - 6,5-190 г/л, загальний солевміст 1500-4500 мг/л.

Ця обставина потребує поетапної, а у ряді випадків і багаторазової подачі розчину вапна в оброблювану воду, що обумовлено порівняно низькою розчинністю вапна.

*Реактиви, посуд, апарати:*

- аналітичні ваги;
- пристосування для титрування;
- скляні циліндри обсягом  $200 \text{ см}^3$  – 5 шт.;
- дистильована вода;
- Хлорид кальцію  $\text{CaCl}_2$ , сухий, для приготування імітату;

- Хлорид магнію  $MgCl_2$ , для приготування імітату;
  - Хлорид натрію  $NaCl$ ;
- Отримана твердість контролюється згідно дод. Б.
- гідроокис кальцію;
  - сода;
  - реактиви для визначення загальної лужності й карбонатної твердості (див. дод. В);
  - реактиви для визначення вмісту хлоридів у воді (дод. Г).

### ***Хід роботи***

Дослідження процесу зм'якшення здійснюється на воді, що імітує склад реальних стічних вод від регенерації Na-катіонітових фільтрів першого ступеня зм'якшення живильної води для парових казанів високого й середнього тиску на ТЕЦ.

1. Приготувати модельні розчини стічних вод від регенерації Na-катіонітових фільтрів з використанням хімічно чистих хлоридів кальцію, магнію й натрію, які необхідно розчинити в дистилаті. За допомогою хімічного аналізу слід визначити відповідність отриманих концентрацій необхідних компонентів розрахунковим величинам. Величина загальної твердості у регенераційному розчині визначається методом трилонометрії з використанням індикатору –хрому темно-синього.

2. Для реалізації процесу зм'якшення зазначених стічних вод за допомогою вапняно - содового методу спочатку слід розрахувати необхідні дози реагентів (кальцинованої соди ( $Na_2CO_3$ ) і вапна  $Ca(OH)_2$ . виходячи зі стехіометричних співвідношень концентрацій вихідних речовин і речовин, що вводять.

3. Циліндри обсягом  $1000\text{ см}^3$  заповнити досліджуваною водою й додати розчини кальцинованої соди ( $Na_2CO_3$ ) і вапна  $Ca(OH)_2$ . Реагенти можна вводити двома способами - у вигляді розчинів або у сухому виді. Обробку води слід здійснювати послідовно. Спочатку додати розчин соди, а після завершення у воді хімічних реакцій вводити розчин вапна. З огляду на те, що сода добре розчинна у воді, а вапно погано розчинне, у процесі проведення досліджень соду вводити одноразово у вигляді розчину, а вапно – додавати порціонно. Рекомендується провести декілька серій експериментів при введенні вапна одноразово й при порціонній подачі вапна в оброблювану воду.

4. Провести кілька серій експериментів – у першу колбу додати розрахункову кількість реагентів, у другу – надлишок на 10 %, наступні зробити з надлишком 15–20 % і нехваткою реагенту на 10 % і 15–20%. Після того, як постоїть 30 хв і випаде осад, відібрати верхній шар води, профільтрувати і визначити твердість, вміст солей кальцію та лужність.

5. Визначити ефективність процесу зм'якшення стічних вод шляхом аналізу оброблених вод на вміст концентрацій кальцію, магнію, сума яких є загальною твердістю, величину загальної лужності води, а також її складових (бікарбонатна, карбонатна й гідратна лужність), а також концентрацію

хлоридів. Ефективність методу вважається достатньою при зниженні величин загальної твердості і лужності води відповідно до 2–3 мг-екв/л і 3–4 мг-екв/л.

6. Для порівняння провести серію досвідів зі зм'якшення реальних стічних вод, відібраних у процесі відмивки Na-катіонітових фільтрів.

Експериментальні дані зі зм'якшення стічних вод вапняно-содовим методом слід записати в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати зм'якшення модельних розчинів стічних вод від регенерації Na-катіонітових фільтрів 1-го ступеня содо-вапняним методом

№ п/п	Хімічний склад модельних розчинів стічних вод		Доза реагента, г/л		Хімічний склад зм'якшеної води		
	Інгредієнти, один. вимір.	Концент- рація	Вапно	Кальцин. сода	СГ, г/л	Ж <sub>заг</sub> , мг- екв/л	Са <sup>2+</sup> , мг-екв/л
1	СГ, г/л Ж <sub>заг</sub> , мг-екв/л Са <sup>2+</sup> , мг-екв/л Mg <sup>2+</sup> , мг-екв/л						
2	СГ, г/л Ж <sub>заг</sub> , мг-екв/л Са <sup>2+</sup> , мг-екв/л Mg <sup>2+</sup> , мг-екв/л						
3	СГ, г/л Ж <sub>заг</sub> , мг-екв/л Са <sup>2+</sup> , мг-екв/л Mg <sup>2+</sup> , мг-екв/л						
4	СГ, г/л Ж <sub>заг</sub> , мг-екв/л Са <sup>2+</sup> , мг-екв/л Mg <sup>2+</sup> , мг-екв/л						

### Контрольні питання

1. Що називається твердістю води? Які розрізняють види твердості?
2. Чому карбонатну твердість називають тимчасовою?
3. Які ви знаєте методи зм'якшення води? Відповідь підтвердите рівняннями реакцій.
4. Якими методами можна усунути карбонатну й некарбонатну твердість?
5. Які реагенти використовують при зм'якшенні води методом осадження?

## ДОДАТКИ

Додаток А

### Довідкові значення параметрів систем водопостачання промислових підприємств

Таблиця А1 – Значення коефіцієнта К для бризкальних басейнів та градирень залежно від температури повітря за сухим термометром

$T, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40
К	0,001	0,0012	0,0014	0,0015	0,0016

Таблиця А2 – Значення коефіцієнта К для ставків охолоджувачів залежно від природної температури водойми

$T, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40
К	0,0007	0,0009	0,0011	0,0013	0,0015

Таблиця А3 – Втрати води з краплинним винесенням вітром (у відсотках від витрати оборотної води залежно від типу охолоджувача)

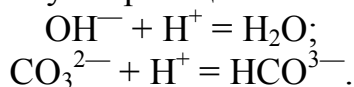
Тип охолоджуючих пристроїв	$P_2, \%$
Бризкальні басейни з площею зрошування	
$< 400 \text{ м}^2$	1,5-3,5
$\geq 400 \text{ м}^2$	1,0-2,5
Відкриті градирні	1-3
Баштові градирні без краплеуловлювачів	0,5-1,0
Баштові градирні з краплеуловлювачами	0,01-0,05
Вентилятори градирні з краплеуловлювачами	0,2-0,5



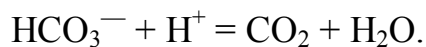
### **Визначення загальної лужності та карбонатної твердості**

Загальна лужність води обумовлена присутністю іонів  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ .

Іони  $\text{OH}^-$  и  $\text{CO}_3^{2-}$  титрують соляною кислотою в присутності індикатора фенолфталеїну (при  $\text{pH}=8,6$ ). Вони обумовлюють лужність води по фенолфталеїну. При титруванні води соляною кислотою в присутності фенолфталеїну протікають наступні реакції:



Іони  $\text{HCO}_3^-$  титрують соляною кислотою в присутності індикатора метилового оранжевого (при  $\text{pH} = 8,6$ ). Реакція, що при цьому відбувається описується наступним рівнянням:



Якщо лужність по фенолфталеїну дорівнює нулю, то загальна лужність обумовлена присутністю тільки бікарбонатів  $\text{HCO}_3^-$ . Для переважної більшості природних вод іони  $\text{HCO}_3^-$  зв'язані тільки з  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$ . Тому у тих випадках, коли лужність по фенолфталеїну дорівнює нулю, можна вважати, що загальна лужність води дорівнює її карбонатної твердості (за наявності у воді солей твердості).

#### **Реактиви**

1. Соляна кислота – 0,1 н розчин (готується з фіксаналу).
2. Метилловий оранжевий – 0,1 %-й розчин (1 г метилового оранжевого розчиняють у 1 л дистильованої води).
3. Фенолфталеїн – 0,5 %-й розчин спиртовий (0,5 г фенолфталеїну розчиняють у 50 мл 96 % етилового спирту і додають 50 мл дистильованої води). У розчин по краплям додають 0,02 н розчин  $\text{NaOH}$  до появи рожевого кольору.
4. Аміачний буферний розчин.
5. Індикатор хром темно-синій.
6. Трилон Б - 0,1 н. розчин.

#### **Хід визначення**

До 100 мл досліджуваної води, відміряної циліндром у конічну колбу на 200 мл, додають 2-3 краплі розчину фенолфталеїну. Якщо з'являється рожева окраска, воду титрують 0,1 н розчином соляної кислоти до знебарвлення. Потім у цю ж пробу додають 2-3 краплі розчину метилового оранжевого і продовжують титрувати розчином соляної кислоти до переходу з жовтого кольору у рожевий. Записують об'єм 0,1 н розчину соляної кислоти, витраченої на титрування з фенолфталеїном, і загальний об'єм 0,1 н розчину соляної кислоти, витраченої на титрування. Загальну лужність води,  $\text{Л}_{\text{заг}}$ , мг-екв/л, розраховують за формулою

$$Л_{заг} = \frac{V \cdot N \cdot 1000}{V_1}$$

де  $V$  – об'єм розчину соляної кислоти, витраченої на титрування взятого об'єму досліджуваної води, мл;

$V_1$  – об'єм проби води, мл;

$N$  – нормальність розчину соляної кислоти.

Як проміжну розрахункову величину обчислюють лужність за фенолфталеїном,  $Л_{\phi}$ , мг-екв/л

$$Л_{\phi} = \frac{V_2 \cdot N \cdot 1000}{V_1},$$

де  $V_2$  – об'єм розчину соляної кислоти, витраченої на титрування з фенолфталеїном.

## Додаток В

### *Визначення загальної твердості*

#### *Реактиви*

1. Аміачний буферний розчин (до 10 г хлориду амонію  $\text{NH}_4\text{Cl}$  доливають 50 мл 25 %-го розчину аміаку  $\text{NH}_4\text{OH}$  і доводять загальний об'єм розчину до 500  $\text{cm}^3$ ).
2. Еріохром чорний – індикатор (до 0,5 г індикатору доливають 10 мл аміачного буферного розчину і доводять загальний об'єм розчину етиловим спиртом до 100 мл).
3. Трилон Б – 0,1 н розчин (навіску 18,6 г трилону розчиняють у дистильованій воді, переносять у мірну колбу на 1000 мл та доводять до позначки).

#### *Хід визначення*

До 100 мл досліджуваної води, відміряної циліндром у конічну колбу на 250 мл доливають 5 мл аміачно буферного розчину для створення потрібного лужного середовища. Нагріти на плитці до 60–70 °С (до появи помітної пари над поверхнею розчину). Потім додати 6-7 крапель розчину індикатора еріохрому чорного, що утворює з іонами кальцію та магнію комплекси червоно-малинового кольору. Як індикатор можна використовувати "хром темно-синій" на кінчику шпателя. За наявності  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  розчин забарвлюється у червоно-малиновий колір. Цей розчин повільно титрують 0,05 н розчином трилону Б до зміни кольору у синяво-сіру. Це свідчить про те, що всі іони  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  зв'язані з трилоном Б. Під час титрування розчин у колбі слід інтенсивно перемішувати.

Загальну твердість, мг-екв/л, розраховують за формулою:

$$Ж_{заг} = \frac{V_1 \cdot N \cdot 1000}{V},$$

де  $V$  – об'єм розчину трилону Б, витраченого на титрування взятого об'єму досліджуваної води, мл;

$V_1$  – об'єм проби води, мл;

$N$  – нормальність розчину трилону Б.

Некарбонатна твердість дорівнює:

$$Ж_{нк} = Ж_{заг} - Ж_{к},$$

де  $Ж_{к}$  – карбонатна твердість (див. визначення лужності).

Для визначення кальцієвої та магнієвої твердості у конічну колбу відміряти циліндром 10 мл досліджуваної води, додати 5 мл 2 н розчину NaOH. Прилити 30 мл дистильованої води. На коінчику шпателя додати індикатор "мурексид" і титрувати розчином "трилону Б" при інтенсивному перемішуванні до переходу забарвлення від рожевого до фіолетово-синього.

Додаток Г

### ***Визначення вмісту хлоридів у воді***

#### ***Реактиви***

1. Хромат калію – 10%-й розчин (50 г  $K_2CrO_4$  ч.д.а. розчиняють у невеликій об'ємі двічі дистильованої води і додають розчин азотнокислого срібла до початку утворення червоного осаду. Після двохгодинного відстоювання розчин фільтрують і доводять двічі дистильованою водою до 500 мл).

2. Азотнокисле срібло – 0,1 н розчин (15,29 г  $AgNO_3$  ч.д.а, висушеного при температурі  $105^{\circ}C$ , розчиняють у двічі дистильованій воді і доводять до 1 л в мірній літровій колбі). Розчин зберігають у скляному бутілі з темного скла.

#### ***Хід визначення***

Для визначення вмісту хлоридів відібрати проби води 10 мл, додати 1 мл 10%-вого розчину індикатору – хромовокислого калію і титрувати розчином азотнокислого срібла  $AgNO_3$  до появи червоно-брунатного кольору. Відмічають об'єм розчину азотнокислого срібла, витраченого на титрування.

Кількість хлоридів, мг/л, у досліджуваній воді розраховують за формулою:

$$C_{Cl} = \frac{V_1 \cdot E \cdot N \cdot 1000}{V_2},$$

де  $V_1$  – об'єм розчину азотнокислого срібла, витраченого на титрування взятого об'єму досліджуваної води, мл;

$E$  – міліграм-еквівалент хлору (35,5);

$V_2$  – об'єм проби води, мл;

$N$  – нормальність розчину азотнокислого срібла.

*Навчальне видання*

Методичні вказівки  
виконання лабораторних робіт  
з навчальної дисципліни

**«ЗВОРОТНІ І БЕЗСТІЧНІ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ  
ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ»**

*(для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня - магістр  
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія,  
спеціалізація (освітня програма) «Раціональне використання і охорона  
водних ресурсів»)*

Укладач **АЙРАПЕТЯН** Тамара Степанівна

Відповідальний за випуск *К. Б. Сорокіна*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *Т. С. Айрапетян*

План 2017, поз. 94 М

---

Підп. до друку 19.06.2017 р.  
Друк на ризографі  
Зам. №

Формат 60×84/16  
Ум. друк. арк. 1,2  
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002  
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 5328 від 11.04.2017 р.